Über diskontinuierliche Entladungen und die Kapazität von Entladungsröhren.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät

der

kgl. Bayer. Friedrich-Alexanders-Universität Erlangen

ACAD. LUDOVIC. BAT. BIBL.

vorgelegt von

Joseph Würschmidt

aus Bayreuth.

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Februar 1909.

Erlangen.

K. B. Hof- und Univ.-Buchdruckerei von Junge & Sohn.

1909.

150

Dekan und Referent: Herr Prof. Dr. E. Wiedemann.

Meinen lieben Eltern

gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549828_0060

Einleitung.

Wenn die elektrische Entladung durch ein Gas bei niederem Druck hindurchgeht, so sind die Unterschiede in der Erscheinung in den verschiedenen Teilen der Entladungsbahn besonders deutlich ausgeprägt. Um die Kathode lagert sich das bläuliche Glimmlicht, das mit abnehmendem Druck immer mehr zunimmt, bis es die ganze Kathode bedeckt. Es gleicht bei einem zylindrischen Kathodendraht einem Probierrohr, das deutlich abgegrenzte Ränder an demjenigen Ende hat, welches am weitesten von der Spitze entfernt ist[1]). Von N. Hehl[2]) und H. A. Wilson[3]) wurden gleichzeitig die Gesetze untersucht, nach denen die Länge des von dem Glimmlicht bedeckten Drahtes von Stromstärke, Gasdruck und Durchmesser des Drahtes abhängt. Hehl fand, daß die Länge der „Bedeckung" umgekehrt proportional dem Gasdruck, direkt proportional der Stromstärke und umgekehrt proportional dem Radius des Elektrodendrahtes ist; oder wenn l die Länge der Bedeckung, i die Stromstärke, p der Gasdruck und r der Radius des Drahtes ist, $\frac{r \cdot p \cdot l}{i} = \text{konst.}$ wird, so daß also stets die Stromdichte die gleiche ist. Wilson kam zu den nämlichen Resultaten mit der kleinen Abweichung, daß er statt r in der angegebenen Formel $r + 0{,}025$ setzte. Diese Gesetze wurden von den beiden Beobachtern für den kontinuierlichen Strom aufgestellt; zu untersuchen blieb, wie sich die Verhältnisse bei der diskontinuierlichen Entladung gestalten, da ja die kontinuierlichen Entladungen doch nur einen Grenzfall des Elektrizitätsdurchganges in Gasen darstellen.

---

[1]) J. J. Thomson, Elektrizitätsdurchgang in Gasen, p. 461.

[2]) N. Hehl, Inaug.-Diss. Erlangen 1902.

[3]) H. A. Wilson, Phil. Mag., 6, 4, p. 608, 1902.

Die diskontinuierliche Entladung im allgemeinen ist schon der Gegenstand früherer Untersuchungen gewesen. Eine Reihe von Beobachtungen hierüber ist von G. Wiedemann[1]), von E. Wiedemann[2]), von E. Wiedemann und H. Ebert[3]), von E. Wiedemann und G. C. Schmidt[4]) und anderen angestellt worden. Diese letzten beiden Forscher haben vielfach Akkumulatoren verwandt, während sonst meistens eine Influenzmaschine benutzt wurde.

Ausführliche Messungen, die besonders das Verhalten des Entladungspotentials für die diskontinuierliche Entladung klarlegen, wurden im Erlanger Institut von S. N. Taylor[5]) angestellt; ferner hat R. Reiger[6]) Kontinuitäten und Diskontinuitäten bei Entladungserscheinungen untersucht und Beobachtungen über den Potentialverlauf gemacht. H. Ebert[7]), W. Lessing[8]) und andere bedienten sich zu ihren Untersuchungen auch hochgespannter Wechselströme.

Die folgende Arbeit soll nun weitere Beiträge zur Kenntnis der diskontinuierlichen Entladungen liefern. Sie zerfällt in folgende Teile:

I. Prüfung der Hehlschen Gesetze (bei kontin. Entladung).

II. Abhängigkeit der Länge der Bedeckung von der Zahl der Entladungen, die pro Sekunde durch das Entladungsrohr gehen, und Bestimmung der Dauer einer Entladung.

III. Einfluß von Veränderungen im Stromkreis auf Zahl und Form der Entladungen.

1. Einfluß einer Funkenstrecke. Abhängigkeit der Entladungszahl von der Schlagweite der Funkenstrecke.

---

[1]) G. Wiedemann, Pogg. Ann., Bd. 145, p. 235, 1872; Die Lehre von der Elektrizität.

[2]) E. Wiedemann, Wied. Ann. 10, p. 211, 1880.

[3]) E. Wiedemann u. H. Ebert, Sitzungsber. d. phys.-med. Soz. Erlangen 1892.

[4]) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, Wied. Ann. 66, p. 314, 1898.

[5]) S. N. Taylor, Phys. Review 18, p. 608, 1902.

[6]) R. Reiger, Sitzungsber. d. phys.-med. Soz., Erlangen 1902, p. 1.

[7]) H. Ebert, Wied. Ann. 65, p. 761, 1898; 67, p. 608, 1899; 69, p. 372, 1899.

[8]) W. Lessing, Inaug.-Diss. Erlangen 1902.

2. Einfluß eines Widerstandes und einer Selbstinduktion.
3. Einfluß eines Kondensators.

IV. Bestimmung der sogenannten Kapazität einer Entladungsröhre. Untersuchungen über die Änderung der Kapazität bei verschieden geformten Entladungsröhren, wobei unter Kapazität einer Entladungsröhre die pro Entladung übergehende Elektrizitätsmenge bezogen auf das Entladungs-Potential Eins verstanden werden soll.

Apparate und Versuchsanordnung.

1. Zu den ersten Versuchen, die der Nachprüfung der Hehl-Wilsonschen Gesetze galten, wurde eine der von Hehl benutzten und in seiner Dissertation ausführlich beschriebenen Flaschen benutzt. Dann, als es sich darum handelte, nicht nur die Größe der Bedeckung, sondern gleichzeitig auch die Diskontinuität der Entladung zu untersuchen, wurden Entladungsröhren von der aus der Figur 1 ersichtlichen Form angewandt.

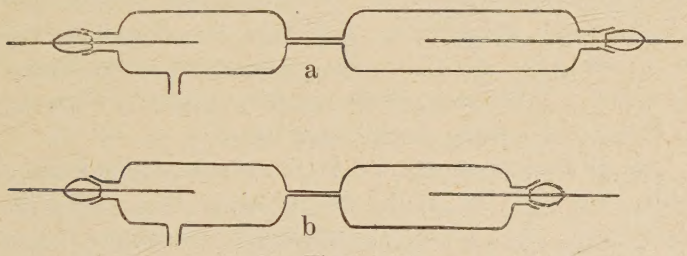

Fig. 1.

In der Mitte besaßen sie ein Kapillarrohr; Anfangs wurde ein Rohr wie Fig. 1 a benutzt, der längere Teil des Rohres enthielt die Kathode, der kürzere die Anode. Später wurden meistens vollkommen symmetrische Röhren benutzt (Fig. 1 b). An den beiden Enden der Röhren waren Fettschliffe angebracht, in denen die Elektroden befestigt waren. Als Elektroden wurden Aluminiumdrähte verwandt; gereinigt wurden dieselben entweder mit Smirgel oder durch Abschaben mit einem Radiermesser[1]). Über die Dimensionen der Röhren bezw. der

[1]) A. Wehnelt, Wied. Ann. 7, p. 240, 1902.

einzelnen Röhrenteile finden sich die Angaben bei den jeweiligen Versuchsreihen.

Der seitliche Rohransatz führte zur Luftpumpe. Als solche wurde eine automatische Fallquecksilberluftpumpe benutzt, bei der mit einer Wasserstrahlluftpumpe vorevakuiert wurde. Später wurde eine Luftpumpe von Geißlers Nachfolger, Franz Müller in Bonn verwendet. Um die Drucke zu messen, benutzte ich ein Mac-Leodsches Manometer, welches gestattete, Drucke von 8 mm bis 0,001 mm abzulesen.

2. Als Stromquelle wurde anfangs die Hochspannungsbatterie, später stets eine Töplersche 20plattige Influenzmaschine benutzt, die durch einen Schmidschen Wassermotor betrieben wurde. Da dieser manchmal, wenn in der Nähe aus der Wasserleitung Wasser entnommen wurde, nicht ganz gleichmäßig lief, so wurden einige Versuche abends und nachts ausgeführt. Eine gleichmäßigere Elektrizitätszufuhr wurde auch dadurch herbeigeführt, daß man den Wassermotor sehr schnell laufen ließ. Die hierdurch entstehende zu große Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheiben der Influenzmaschine wurde dadurch aufgehoben, daß man die Transmission über eine an der Achse der Scheiben angebrachte große Holzscheibe laufen ließ. Vollständig ließen sich jedoch Schwankungen in der Elektrizitätszufuhr nicht vermeiden.

Als Widerstände dienten Hittorfsche Jodkadmiumwiderstände, wie sie bei Hehl beschrieben sind, oder Wasserwiderstände. Zu Potentialmessungen dienten Braunsche Elektrometer, mit den Meßbereichen bis zu 1500 bezw. 3000 Volt, zu einigen direkten Beobachtungen über dem Entladungspotential eine Braunsche Röhre in der von Wehnelt angegebenen Form. Evakuiert wurde die Braunsche Röhre mit der Quecksilberluftpumpe, mit der dann ein zweites, durch Vergleich mit dem ersten geeichtes Mac-Leodsches Manometer verbunden wurde.

Als Strommesser diente bei den Versuchen mit der Hochspannungsbatterie ein Milliamperemeter, bei den übrigen ein Galvanometer.

3. Zur Bestimmung der Länge der Bedeckung wurde das Bild einer seitlich vom Rohr aufgestellten beleuchteten

Glasskala mittels eines unbelegten Spiegels an die Stelle projiziert, wo sich in Wirklichkeit die Bedeckung befand, und durch ein Fernrohr beobachtet. Die Helligkeit der die Skala beleuchtenden Glühlampe konnte durch einen Stufenschalter auf 4 verschiedene Lichtstärken reguliert werden.

Um die Zahl der Entladungen zu bestimmen, war hinter der Kapillare des Entladungsrohres ein Spiegel angebracht, der an der Achse eines Elektromotors befestigt war und durch denselben in Rotation versetzt wurde. Dadurch wurde das Bild der diskontinuierlichen Entladung in der Kapillare im Spiegel in einzelne Streifen aufgelöst, deren Abstände umgekehrt proportional der Zahl der Entladungen pro Sekunde bei konstanter Rotationsgeschwindigkeit des Drehspiegels sind. Dieselben wurden nach der nämlichen Methode wie die Länge der Bedeckung gemessen. Bei der kurzen Dauer des Sichtbarseins der Bilder war es sehr schwierig, den Abstand genau mit den Teilstrichen der Skala zu vergleichen; um einigermaßen genaue Resultate zu erhalten, beobachtete ich die nämliche Erscheinung mit verschiedener Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels und nahm aus diesen Beobachtungen das Mittel. Später ersetzte ich die beleuchtete Glasskala durch eine Milchglasplatte; auf diese war schwarzes Papier geklebt, in welchem in Abständen von 10 zu 10 mm schmale Streifen ausgeschnitten waren. Es wurden dann durch eine hinter der Milchglasplatte aufgestellte, regulierbare Glühlampe nur die Streifen beleuchtet. Durch einen Schieberheostaten wurde die Geschwindigkeit des Drehspiegels solange reguliert, bis die im Spiegel aufblitzenden Streifen die gleiche, eventuell auch die halbe oder doppelte Entfernung voneinander hatten, wie die festen beleuchteten Streifen. Der Elektromotor wurde mittels der elektrischen Lichtleitung von 110 Volt, indem in den Stromkreis außer dem Regulierrheostaten eine 32kerzige Glühlampe und ein Stufenschalter zur ungefähren Regulierung der Geschwindigkeit eingeschaltet wurde. Die feinere Einstellung geschah leicht mit dem erwähnten Schieberheostaten.

Es sei l der Abstand zweier Entladungsbilder im Drehspiegel, z die Umlaufszeit desselben, A die Entfernung der

Kapillare vom Spiegel und t die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Entladungen; dann ist[1])

$$t = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{l}{A} \cdot z.$$

Die Umlaufszeit des Drehspiegels wurde aus der Beobachtung einer größeren Zahl von Umdrehungen mittels eines Chronometers bestimmt.

I. Teil.

(Versuche mit kontinuierlicher Entladung.)

Prüfung der Hehlschen Gesetze.

Das Schaltungsschema ist aus der Figur ersichtlich; der negative Pol der Influenzmaschine I ist mit dem Jodkadmiumwiderstand W, dieser mit der einen Elektrode K der Entladungsflasche E verbunden; die andere Elektrode A ist mit einem Milliampèremeter verbunden, dieses und ebenso der positive Pol der Influenzmaschine ist zur Erde abgeleitet.

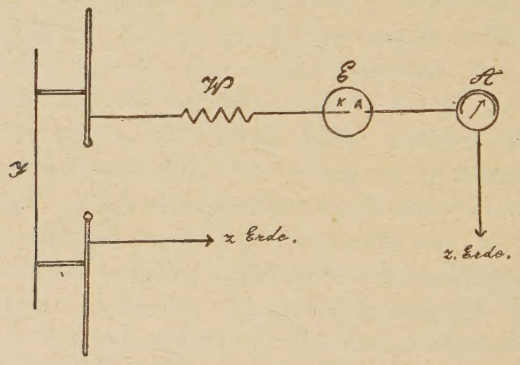

Fig. 2.

Es sei für jedes Teilgesetz eine der angestellten Versuchsreihen angegeben.

1. Die Länge der Bedeckung ist umgekehrt proportional dem Druck (l = Länge der Bedeckung, p = Druck).

---

[1]) Kohlrausch, Lehrbuch der prakt. Physik p. 120.

Tabelle 1.

p	l	p·l	p	l	p·l
2,28	3	6,84	0,38	17	6,46
1,63	4,5	7,56	0,31	24	7,44
1,28	6	7,68	0,23	33	7,59
0,81	9	7,29	7,94	0,9	7,15
0,68	11	7,48	3,54	1,3	7,19
0,44	15	6,60	2,32	3	7,56

Mittel: $p \cdot l = 7{,}24$.

2. Die Länge der Bedeckung ist direkt proportional der Stromstärke (i = Stromstärke).

Tabelle 2.

a) $p = 7{,}28$.

l	i	l : i
13,5	10,5	1,28
21	14	1,5
26	18,5	1,4
32	22,5	1,4
40	26,5	1,5

Mittel: $l : i = 1{,}4$.

Tabelle 3.

b) $p = 5{,}44$.

l	i	l : i
16	9	1,8
7,7	4	1,9
48	25	1,9

Mittel: $l : i = 1{,}87$.

Aus 1) und 2) folgt: $p \cdot \frac{l}{i} = \text{konst.}$ Aus a) und b) ergibt sich:

$$1{,}4 \cdot 7{,}28 = 10{,}19$$
$$1{,}87 \cdot 5{,}44 = 10{,}17$$

3. Die Länge der Bedeckung ist umgekehrt proportional dem Radius des als Elektrode verwendeten Drahtes (r = Radius).

a) $r = 1{,}5 \qquad p \cdot \frac{l}{i} = 10{,}18$ (aus 1 und 2).

b) $r = 0{,}5 \qquad p \cdot \frac{l}{i} = 30{,}74$ (aus Tab. 4).

Tabelle 4.

$p = 5{,}98$.

i	l
4	20
5,5	31
10	57

Aus a folgt: $\frac{r \cdot p \cdot l}{i} = 1{,}5 \cdot 10{,}18 = 15{,}27.$

Aus b folgt: $\frac{r \cdot p \cdot l}{i} = 0{,}5 \cdot 30{,}74 = 15{,}37.$

II. Teil.

(Versuche mit diskontinuierlicher Entladung.)

Abhängigkeit der Länge der Bedeckung von der Zahl der Entladungen, die pro Sekunde durch das Entladungsrohr gehen, und Bestimmung der Dauer einer Entladung.

Zu diesen Versuchen wurden Entladungsröhren von folgenden Dimensionen verwandt (in mm):

	1. Rohr	2. Rohr	3. Rohr	4. Rohr
Weite des Rohres	30	40	40	50
Weite der Kapill.	3	2	1	2
Länge des Kath.-Teiles . .	250	250	250	250
Länge des Anoden-Teiles .	150	150	150	250
Länge der Kapill.	100	50	50	50

Es zeigte sich zunächst, daß bei verschiedenen Drucken, Stromstärken und Widerständen die Entladung bald kontinuierlich, bald diskontinuierlich war. Eine in den Stromkreis eingeschaltete Funkenstrecke führt jedoch in den beiden Fällen die diskontinuierliche Entladung herbei. Stets wird im Fall der eingeschalteten Furkenstrecke die Zahl der Entladungen pro Sekunde kleiner; mithin die pro Entladung übergehende Elektrizitätsmenge größer[1]), da die gesamte pro Sekunde übergehende Elektrizitätsmenge konstant bleibt.

Wie mir Herr Prof. E. Wiedemann mitteilt, hat er in einzelnen Fällen beobachtet, daß, wenn ohne Einschaltung einer Funkenstrecke eine diskontinuierliche Entladung vorhanden ist, die Einschaltung einer ganz kleinen Funkenstrecke sie in die kontinuierliche verwandelt. Ich selbst jedoch habe diese Erscheinung nicht beobachtet. Näheres hierüber vgl. den III. Teil dieser Arbeit.

Bei den folgenden Messungen ist immer die eine Elektrode des Entladungsrohres durch den Widerstand mit dem negativen Pol der Influenzmaschine verbunden, die andere Elektrode

[1]) Wied. Anm. 20, p. 760, 1883 (E. Wiedemann).

ist durch die Funkenstrecke[1]) ebenso wie der positive Pol der Maschine direkt zur Erde abgeleitet. (S. Figur 3.)

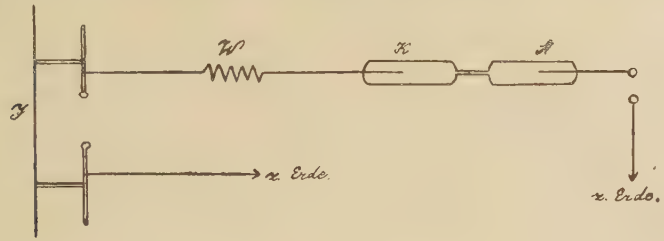

Fig. 3.

Die ersten Versuche unter Anwendung der beleuchteten Glasskala lieferten für die Entladungszahlen ziemlich ungenaue Werte; es zeigte sich aber, daß in ungefährer Annäherung das Produkt aus Bedeckung und Entladungszahl konstant ist. Weitere Versuche mit den Entladungsröhren 1—3, bei welchen die Entladungszahl nach der oben angegebenen verbesserten Methode bestimmt wurde, ergaben die durch die folgenden Tabellen und Kurven dargestellte Abhängigkeit der Bedeckung (b) von der Entladungszahl (n).

Bei diesen Versuchen lag der vorgeschaltete Widerstand stets zwischen 15000 und 240000 Ohm; Änderungen des Widerstandes innerhalb dieses Bereiches verursachten fast gar keine Änderung in der Entladungszahl; erst bei größeren Widerständen wurden die Entladungszahlen kleiner und, wenigstens bei diesen Entladungsröhren, die Entladungen in vielen Fällen unregelmäßig, so daß eine Bestimmung der Entladungszahlen nicht mehr möglich war. Unregelmäßigkeiten in der Entladung traten ferner auf, wenn die Elektroden, sowie wenn die Kugeln der Funkenstrecke nicht ganz blank geputzt waren. In vielen Fällen war die Entladung ohne Funkenstrecke kontinuierlich, das Einschalten einer noch so kleinen Funkenstrecke bewirkt den ruckweisen Übergang zur diskontinuierlichen Entladungsform, deren Vorhandensein sich

[1]) Kontrollversuche ergaben das noch weiter zu verfolgende Ergebnis, daß die Zahl der Entladungen die gleiche bleibt, mag die Funkenstrecke sich vor oder hinter dem Entladungsrohr befinden.

nicht nur im Drehspiegel, sondern auch an der plötzlich wachsenden Bedeckung zeigte. War die Entladung bei kleinem Widerstande kontinuierlich, so ließ sich der gleiche Übergang auch durch Vergrößern des Widerstandes erreichen. Näheres über den Einfluß eines Widerstandes siehe im III. Teil.

Um die Stromstärke zu messen, wurde zwischen Funkenstrecke und Erde ein Galvanometer eingeschaltet, dessen Empfindlichkeit[1]) nach bekannter Methode zu e = 0,32 bestimmt wurde. Es ließ sich jedoch sowohl bei der kontinuierlichen als auch bei der diskontinuierlichen Entladungsform ein mehr oder minder starkes Schwanken nicht vermeiden, wenn die mit dem Wassermotor betriebene Influenzmaschine als Elektrizitätsquelle benutzt wurde. Die Ausschläge sind bei beiden Entladungsformen gleich groß. Vgl. Kohlrausch, Lehrbuch der prakt. Physik, p. 481: „Kann man die Elektrizitätsmenge Q längere Zeit rasch wiederholt (N mal in 1 Sek.) durch das Galvanometer schicken, so entsteht eine dauernde Ablenkung α. Dann ist $Q = C \cdot \frac{\alpha}{N}$, wobei C der gewöhnliche Reduktionsfaktor des Galvanometers ist.“ Für die nächstfolgenden Versuche kommt die galvanometrisch gemessene Stromstärke indes nicht in Betracht.

Die Tabellen 5 bis 18 enthalten die bei Veränderung der Länge der Funkenstrecke gewonnenen zusammengehörigen Werte der Bedeckung b und „Entladungszahl“ n. Der Grund, weshalb nicht noch größere Bedeckungen beobachtet wurden, liegt darin, daß die Bedeckung, wenn sie einmal eine bestimmte Größe erreicht hat, keine scharfe Grenze mehr besitzt und oft zwischen verschiedenen Größen hin- und herschwankt. Bei weiterer Vergrößerung der Funkenstrecke pflegt sie dann sehr rasch die ganze Kathode zu bedecken. Auch bei kleinen Bedeckungen tritt häufig ein plötzlicher, unstetiger Übergang von einem größeren zu einem kleineren Wert und umgekehrt bei ganz stetiger Veränderung der Funkenstrecke auf.

---

[1]) Unter Empfindlichkeit ist der Ausschlag in mm bei 1 m Skalenabstand zu verstehen, den der Strom von 10^{-6} A gibt.

In den Kurven Fig. 4 und 5 sind als Ordinaten die Längen der Bedeckungen, als Abszissen die reziproken Werte der Entladungszahlen aufgetragen, dieselben sind proportional den pro Entladung übergehenden Elektrizitätsmengen.

Tabelle 5.

1. $p = 3{,}3$.

b	n	$\frac{1}{n} \cdot 10^5$	b·n	b	n	$\frac{1}{n} \cdot 10^5$	b·n
55	400	250	22000	29	750	133	21750
45	460	213	20700	22	958	105	21076
38	580	173	22040	19	1080	93	20520

Tabelle 6.

2. $p = 3{,}0$.

85	320	313	27200	28	940	107	26320
75	350	286	26250	21	1240	81	26040
57	460	218	26220	18	1340	75	24520
47	570	175	26790	15	2700(?)	37(?)	40500
36	650	133	23400				

Tabelle 7.

3. $p = 2{,}7$.

87	374	268	32538	36	800	125	28800
77	400	250	30800	32	868	116	27776
68	450	222	30600	26	1050	95	27300
59	500	200	29500	23	1440	70	33120
49	580	173	28420				

Tabelle 8.

4. $p = 2{,}0$.

b	n	$\frac{1}{n} \cdot 10^5$	b·n	b	n	$\frac{1}{n} \cdot 10^5$	b·n
60	820	122	49200	40	1260	80	50400
53	960	104	50880	18	3000	30	54000
47	1040	96	48880				

Tabelle 9.

5. $p = 2{,}5$.

72	474	211	34128	41	730	137	29930
70	492	204	34440	37	772	130	29564
67	512	196	34304	33	900	111	29700
61	560	179	34160	30	1000	100	30000
57	580	178	33060	28	1300	77	36400
54	610	164	32094	20	1900	54	38040

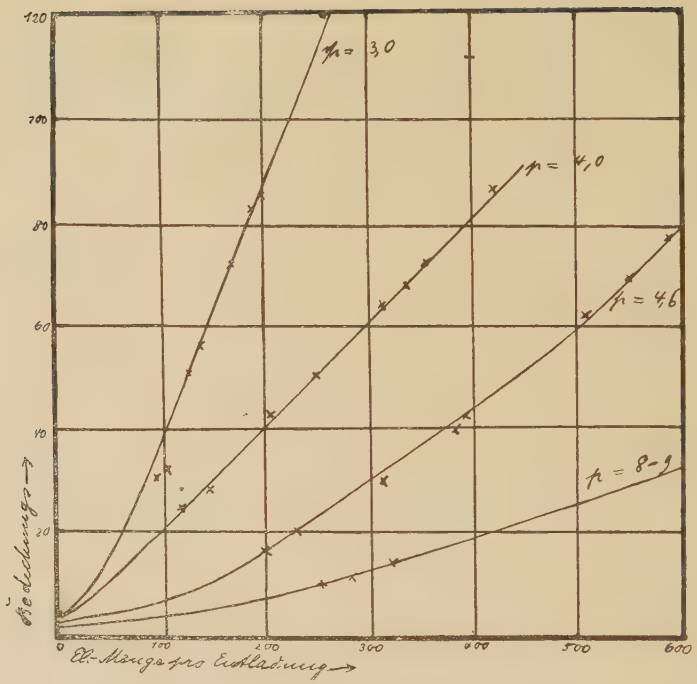

Fig. 4.

Tabelle 10.

6. p = 1,7.

122	500	222	61000	90	640	157	57600
102	600	169	61200	85	680	147	57800
95	606	165	57570	66	840	119	55440

Tabelle 11.

1. p = 8.

85	80	1250	6800	49	120	834	5880
75	86	1191	6450	14	310	323	4340
70	100	1000	7000	12	350	286	4200
57	108	929	6156	10	400	250	4000

Tabelle 12.

2. p = 4,6.

110	144	650	15840	40	260	390	10400
78	172	582	13416	31	318	315	9858
69	182	550	12558	20	436	230	8720
62	196	510	12152	16	500	200	8000
43	254	394	10922	2,7 kontin.			

Tabelle 13.

3. p = 4,0.

87	240	417	20880	43	480	209	20640
73	280	357	20440	30	672	149	20160
69	300	334	20700	28	720	129	20600
64	320	313	20480	25	826	121	20650
50	400	250	20000	3 kontin.			

Tabelle 14.

4. p = 3,0.

120	380	263	45600	56	680	147	38080
86	500	200	43000	49	680	139	34250
84	520	193	43680	33	720	104	31680
72	580	173	41760	30	1040	95	31200

Tabelle 15.

1. p = 3,3.

b	n	$\frac{1}{n} \cdot 10^5$	b · n	b	n	$\frac{1}{n} \cdot 10^5$	b · n
60	176	568	10560	30	358	280	10740
45	236	425	10420	22	528	190	11610
38	274	365	10412	12	1172	86	14064
				2 kontin.			

Tabelle 16.

2. p = 3,0.

58	288	377	16704	35	430	233	15050
43	358	288	15494	29	488	205	14152
40	390	257	15600	14	1266	79	17724
				2,2 kontin.			

Tabelle 17.

3. p = 2,0.

47	664	151	31208	33	914	106	30162
45	704	142	33580	23	1366	73	31418
43	728	138	31304	20	1622	61	32440
41	780	129	31980	3 kontin.			

Tabelle 18.

4. p = 1,8.

57	588	170	30516	33	1172	96	36476
50	666	150	33300	30	1250	80	37500
40	820	123	32800				

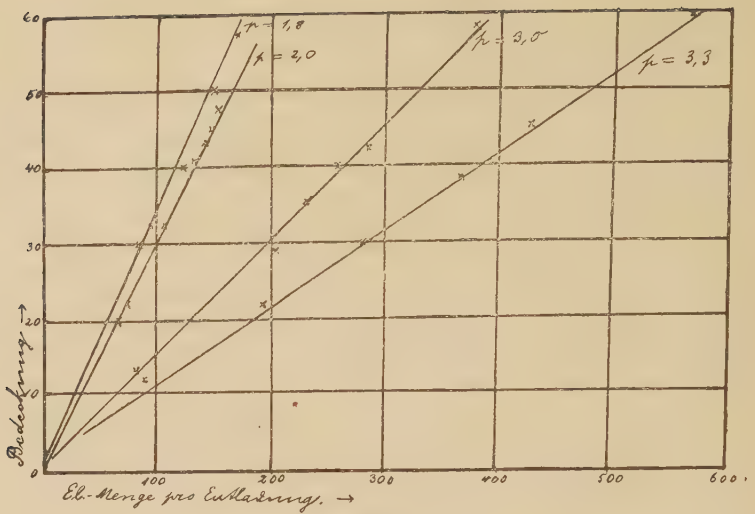

Fig. 5.

Statt durch eine eingeschaltete Funkenstrecke kann man die Entladungszahl auch durch eine parallelgeschaltete Kapazität, etwa diejenige einer Leydener Flasche, verändern. In den folgenden Tabellen ist der auf diese Weise beobachtete Zusammenhang zwischen Bedeckung und Entladungszahl mitgeteilt.

Tabelle 19.

1. $p = 4{,}6$.

b	n	$\frac{1}{n} \cdot 10^5$	b · n	b	n	$\frac{1}{n} \cdot 10^5$	b · n
10	837	120	8370	30	310	323	9900
13	700	143	9100	34	285	351	9690
24	370	270	8850	60	180	556	10800

Tabelle 20.

2. $p = 2{,}57$.

18	1400	71	25200	40	525	190	21000
22	1100	91	24200	49	465	215	22785
33	740	135	24440	70	330	303	23100

Tabelle 21.

3. $p = 1{,}5$.

41	1750	44	71750	58	760	131	44080
47	1460	68	68620	90	500	200	45000
51	1030	97	52530				

Die folgende kleine Tabelle enthält die bei dem Drucke p erhaltenen Bedeckungen bei der kontinuierlichen Entladung und bei der kleinst möglichen eingeschalteten Funkenstrecke

p	b_k	b_d
4,6	2,5	7
2,57	4,0	16
1,5	7,5	31

Bezeichnen wir die pro Sek. übergehende Elektrizitätsmenge, d. i. die galvanometrisch gemessene Stromstärke mit i_0 und die Zahl der Entladungen pro Sekunde mit n, so ist die pro Entladung übergehende Elektrizitätsmenge $\varepsilon = \frac{i_0}{n}$. Hehl fand die Bedeckung direkt proportional der Stromstärke. Bei der diskontuinierlichen Entladung kommt nicht die galvanometrisch gemessene Stromstärke in Betracht, sondern die während einer Entladung pro Zeiteinheit übergehende Elektrizitätsmenge, die wir als die „wahre Stromstärke" bezeichnen wollen. Sie ist der Quotient aus der pro Entladung übergehenden Elektrizitätsmenge und der mit τ bezeichneten Dauer einer Entladung, also

$$i = \frac{\varepsilon}{\tau} = \frac{i_0}{n\tau} \qquad 1.$$

Nach Hehl gibt nun die Bedeckung ein Maß für die Stromstärke und zwar ist $b = ci$ oder $b = \frac{ci_0}{nt}$, 2.

Aus diesen beiden Gleichungen folgt

$$\frac{b}{b_0} = \frac{1}{n\tau} \text{ oder } \tau = \frac{b_0}{bn}$$

wobei b_0 die in manchen Fällen beobachtete Bedeckung bei der kontinuierlichen Entladung bedeutet. Wenn also für kurz dauernde Entladungen die nämlichen Gesetze gelten wie für kontinuierliche, so ist es möglich, aus den obigen Tabellen mittels dieser Gleichung die Entladungsdauer zu berechnen. Im folgenden sind die auf diese Weise aus den Tab. 11—18 gefundenen Entladungsdauern angegeben und zwar bei jedem Druck der entsprechende größte und kleinste berechnete Wert, das heißt die bei jedem Druck auftretenden Entladungsdauern

haben innerhalb des beobachteten Bereiches die unter τ max. bezw. τ min. gegebenen oberen und unteren Grenzen.

Tabelle 22.

p	τ max.	τ min.
8,0	$39 \cdot 10^{-5}$	$22 \cdot 10^{-5}$
4,6	34	17
4,0	15	14
3,0	13	9

Tabelle 23.

p	τ max.	τ min.
3,3	$19 \cdot 10^{-5}$	$14 \cdot 10^{-5}$
3,0	14	12
2,0	10	9
1,8	11	9

Führen wir die Rechnung an den Werten der Tab. 19—21 aus, so erhalten wir etwas größere Werte, nämlich:

Tabelle 24.

p	τ max.	τ min.
4,6	$30 \cdot 10^{-5}$	$25 \cdot 10^{-5}$
2,6	19	16
1,5	17	15

obwohl das nämliche Entladungsrohr wie bei Tab. 15—18 benutzt wurde. Es existiert also ein Unterschied im Entladungsvorgang, je nachdem eine Kapazität dem Entladungsrohr parallel oder eine Funkenstrecke vorgeschaltet wird.

Die im folgenden erwähnten Versuche lassen diesen Unterschied noch deutlicher hervortreten. Das hierbei angewandte Entladungsrohr hatte folgende Dimensionen:

Länge des Anoden- und Kathodenteiles je 20 cm
„ der Kapillare . . . . . 6 cm
Weite des Rohres . . . . . 50 mm
„ der Kapillare . . . . . 1 mm.

Bei einem Druck von etwa 8 mm und einer Stromstärke von $0{,}32 \cdot 10^{-3}$ A war die Bedeckung $b_0 = 12$ cm und die Zeit zwischen 2 aufeinanderfolgenden Entladungen $t_0 = c \cdot 12$ (wobei c eine Konstante ist). Schaltete man eine Kapazität parallel, so wuchs die Bedeckung auf $b_1 = 30$ und die Entladungszahl auf $t_1 = c \cdot 35$. Wenn aber nicht die Kapazität, sondern die Funkenstrecke dazu benutzt wurde, b und t zu variieren, und ihre Schlagweite so gewählt wurde, daß wieder die Bedeckung $b_2 = 30$ war, so ergab sich $t_2 = c \cdot 16{,}4$. Bei einer größeren Kapazität fand man für $b_1 = b_2 = 59$ die Werte $t_1 = c \cdot 61$ und $t_2 = c \cdot 40$. Da nun nach früherem $b = \frac{ci}{n\tau} = \frac{cit}{\tau}$ oder

$\tau = \frac{c\,i}{b}\,t$ ist, so müssen, da ja i und b konstant gehalten werden, die Entladungsdauern in beiden Fällen direkt proportional den Zeiten zwischen 2 aufeinanderfolgenden Entladungen und somit den Elektrizitätsmengen sein. Gehen also bei demselben Druck und derselben Stromstärke gleichviel Entladungen pro Sekunde durch ein Entladungsrohr, geht somit bei jeder Entladung die gleiche Elektrizitätsmenge über, so ist die Dauer der durch die Kapazität beeinflußten Entladung größer als der durch die Funkenstrecke bedingten.

Beim folgenden Versuch wurde zuerst die Kapazität, dann unter genau den gleichen Umständen die Funkenstrecke eingeschaltet. Die Stromstärke wurde so groß gewählt, daß ohne Einschalten von Kapazität bezw. Funkenstrecke kontinuierliche Entladung eintrat; der Druck war wieder etwa 8 mm.

Tabelle 25.

1. Kapazität parallel.

b	n	b n	$\tau \cdot 10^5$	b	n	b n	$\tau \cdot 10^5$
3	∞	∞	—				
11	1002	11022	28*	33	124	4092	73
20	256	5120	59	40	87	3480	86
24	179	6981	43	58	56	3248	92
27	154	4158	72	78	49	3254	92

* Hierbei ist keine Kapazität eingeschaltet, sondern statt der kontinuierlichen Entladung die diskontinuierliche eingetreten. Näheres hierüber unten.

Tabelle 26.

2. Funkenstrecke eingeschaltet.

b	n	b n	$\tau \cdot 10^5$	b	n	b n	$\tau \cdot 10^5$
11	1002	11022	28	45	346	15570	19
19	864	16416	18	52	288	14976	20
24	691	16584	18	61	256	16616	18
37	432	16014	18				

Es zeigt sich also, daß die Dauer der Entladung im Rohr mehr und mehr wächst, wenn die parallel geschaltete Kapazität größer und größer wird, während sie bei vorgeschalteter Funkenstrecke mit zunehmender Schlagweite keine sehr beträchtlichen Veränderungen aufweist.

Fig. 6.

Daß die Länge der Bedeckung durch die Dauer der Entladung bestimmt ist, auch wenn die Entladung weder durch eine Kapazität noch durch eine Funkenstrecke beeinflußt wird, geht auch aus folgendem hervor.

Man kann die galvanometrisch gemessene Stromstärke dadurch verändern, daß man die Geschwindigkeit des die Influenzmaschine treibenden Wassermotors verändert. Hierbei ändert sich die Zahl der Entladungen voraussichtlich proportional der Geschwindigkeit des Motors, also auch proportional der Stromstärke i_0. Dann bleibt die pro Entladung übergehende Elektrizitätsmenge dieselbe, denn $\varepsilon = \frac{i_0}{n}$. Trotzdem aber wurde die Bedeckung, wenn man i und damit n verkleinerte, größer. Es betrug z. B. die Länge der Bedeckung bei einer Rotationsgeschwindigkeit des Motors von 176 Touren pro Minute 33 mm; verringerte man jene bis zu 88 Touren pro Minute, so nahm die Bedeckung auf 39 mm zu, also um

ca. 20 %. Dieses Verhalten wurde bei verschiedenen Drucken beobachtet. Daß in der Tat die pro Entladung übergehende Elektrizitätsmenge die gleiche ist, wenn i variiert wird, beweist der folgende bei einem Drucke von 7,7 mm angestellte Versuch. α ist der Galvanometerausschlag, t ist proportional der Zeit zwischen 2 aufeinanderfolgenden Entladungen. In der 4. Reihe sind zugleich die jeweiligen Werte der Bedeckung angegeben.

Tabelle 27.

α	t	α t	b	α	t	α t	b
380	7	2660	16	100	23	2300	16
290	8	2320	15	85	27	2395	17
260	9	2340	15	75	36	2520	18
200	12	2400	15	55	44	2420	19
170	15	2550	15		Mittel:	2434	

Aus der Empfindlichkeit des Galvanometers $e = 0{,}774$, der Entladungszahl $n = \frac{6911{,}5}{t}$ und dem Produkt $\alpha \cdot t$ ergibt sich die pro Entladung übergehende Elektrizitätsmenge im Mittel zu $4{,}53 \cdot 10^{-7}$ Coulomb.

Um die oben mitgeteilten Resultate über die Entladungsdauer zu prüfen, versuchte ich, dieselben mittels des rotierenden Spiegels direkt zu bestimmen. Dies ist bei geeigneter Rotationsgeschwindigkeit und Entfernung des Spiegels von der Kapillare wenigstens bei höheren Drucken gelungen. Bei diesen betrugen die Verbreiterungen der Entladungsbilder bei mäßiger Rotationsgeschwindigkeit des Drehspiegels bis zu 10 mm und darüber; nach der der Zeit vorausgehenden Seite waren die Bilder scharf begrenzt, während sie nach der anderen allmählich an Intensität abnahmen.

Die Funkenstrecke wurde bei diesen Versuchen nicht eingeschaltet. Die in folgender Tabelle für die Entladungsdauern berechneten ungefähren Werte zeigen ebenso wie die obigen das Zunehmen derselben mit wachsendem Druck.

Tabelle 28.

p	t	p	t
1,7	14.10^{-5}	20,0	100.10^{-5}
3,4	21.10	30,0	160.10^{-5}
7,0	36.10		

Es geht hieraus hervor, daß diese direkt beobachteten Werte mit den oben berechneten für die tieferen Drucke gut übereinstimmen. Für die höheren Drucke läßt sich aus der Messung der Bedeckungen kein Resultat gewinnen, da diese hiebei viel zu klein werden.

III. Teil.

Einfluß von Veränderungen im Stromkreis auf Form und Zahl der Entladungen.

I. Abschnitt.

Einfluſs einer Funkenstrecke. Abhängigkeit der Zahl der Entladungen von der Gröſse der Funkenstrecke.

Die Versuche des 2. Teiles legen die Frage nahe, inwieferne die Zahl der Entladungen pro Sekunde von einer vorgeschalteten Funkenstrecke abhängig ist, ferner, wie sich die Erscheinung verändert, wenn die Funkenstrecke an verschiedenen Stellen des Stromkreises geerdet ist. Was den letzten Punkt betrifft, so wurde von G. Wiedemann[1]) folgendes Resultat angegeben:

„Bei Ableitung der positiven Elektrode sind die zu einer Entladung erforderlichen Elektrizitätsmengen etwas größer, als wenn beide Elektroden isoliert mit der Elektrisiermaschine verbunden sind; bei Ableitung der negativen Elektrode sind dieselben noch sehr viel größer als bei der Ableitung der positiven Elektrode.“

1.

Die Anordnung für die ersten Versuche ist aus der Figur 8 ersichtlich, die Funkenstrecke F ist direkt zur Erde abgeleitet, und die Richtung der von der Influenzmaschine I kommenden Elektrizität kann durch den Stromwender U gekehrt werden, so daß also nach Belieben die Kathode oder die Anode des Entladungsrohres durch die Funkenstrecke zur Erde abgeleitet werden kann. An der Funkenstrecke war eine Mikrometerschraube angebracht, die es gestattete, die

[1]) G. Wiedemann, Die Lehre v. d. Elektrizität, Bd. 4, p. 463, 1885.

Schlagweite der Funken auf $^1/_{100}$ mm genau abzulesen, der Nullpunkt mußte immer wieder neu bestimmt werden.

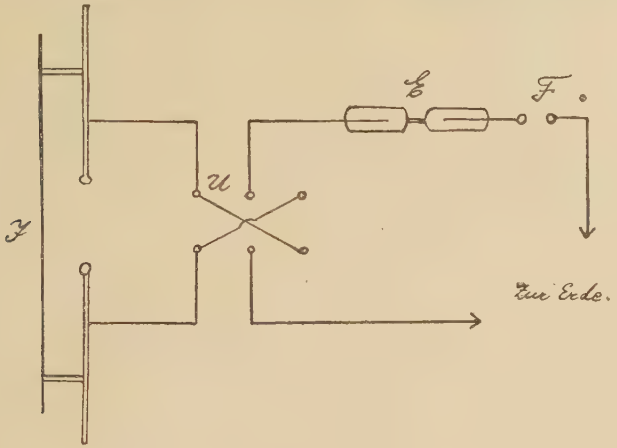

Fig. 8.

War zunächst die Funkenstrecke Null und trat, was bei kleinen Stromstärken der Fall zu sein pflegt, die diskontinuierliche Entladung auf, so bestätigte sich das von G. Wiedemann oben angegebene Resultat, d. h. man erhielt für gleiche Stromstärke größere Entladungszahlen, wenn die Anode geerdet war, als wenn die Kathode geerdet war. Für den Unterschied aber oder das Verhältnis der Entladungszahlen ließ sich keine Gesetzmäßigkeit finden.

Wie auch aus den Versuchen des 2. Teiles hervorging, vergrößert das Einschalten der Funkenstrecke die bei jeder Entladung übergehende Elektrizitätsmenge, verkleinert mithin die Entladungszahl. Dieses Resultat wurde auch jetzt bestätigt, jedoch mit einer Ausnahme für Schlagweiten von 0 - 0,3 höchstens 0,4 mm. Besonders deutlich konnte dieses abweichende Verhalten bei höheren Drucken beobachtet werden, da hier die Entladungszahlen auch ohne Funkenstrecke nicht zu groß sind. Das Einschalten der Funkenstrecke bewirkte zunächst ein Wachsen derselben, also eine Abnahme der pro Entladung übergehenden Elektrizitätsmenge. Häufig sind in dem angegebenen Bereiche die Abstände der Entladungsbilder sehr ungleichmäßig, so daß die

Bestimmung der Entladungszahl nicht möglich ist. Wenn die Schlagweite größer als 0,3 bezw. 0,4 mm geworden ist, werden die Bilderabstände wieder regelmäßig, es beginnen mit zunehmender Schlagweite die Elektrizitätsmengen zu wachsen, und zwar ergibt sich, daß die Zunahme der Elektrizitätsmenge direkt proportional ist der Zunahme der Schlagweite. In diesem regulären Bereiche sind die Entladungszahlen von dem im Entladungsrohr herrschenden Druck nahezu unabhängig.

In der im folgenden mitgeteilten Versuchsreihe sind unter S die Schlagweiten in $^1/_{100}$ mm angegeben, die Zahlen unter A und K sind den Entladungszahlen umgekehrt, also den Elektrizitätsmengen direkt proportional und wurden aus der Beobachtung mit dem rotierenden Spiegel gewonnen. Die Entladungszahlen selbst erhält man, wenn man diese Zahlen in 62830 dividiert. Der Druck im Rohr war 4,9 mm.

Tabelle 29.

S	A Anode geerdet	K Kathode geerdet	S	A Anode geerdet	K Kathode geerdet
0	49	60	150	308	355
30	100	122	180	360	420
60	150	180	210	412	480
90	197	244	240	462	550
120	250	300			

Tabelle 30.

S	A Anode geerdet	K Kathode geerdet	S	A Anode geerdet	K Kathode geerdet
0	69	75	120	300	320
30	75	82	150	355	385
60	190	200	160	410	450
90	245	260			

Zwischen 0 und 30 war hierbei die plötzliche Abnahme der Elektrizitätsmenge nach anfänglicher geringer Zunahme deutlich wahrzunehmen. Zwischen 30 und 40 ist die wieder eintretende Zunahme noch unregelmäßig, erst von 40—45 an regelmäßig.

Bei verschiedenen Drucken sind die Elektrizitätsmengen für gleiche Schlagweite nur wenig voneinander verschieden. Um zu prüfen, ob sie vom Druck unabhängig sind und die Verschiedenheiten nur von verschiedener Stromstärke etc. herrühren, wurde die Entladung für gleiche Schlagweiten bei konstanter Stromstärke unter verschiedenen Drucken beobachtet. Die folgende Versuchsreihe gibt ein Beispiel hiervon für eine Schlagweite von 0,6 mm.

Tabelle 31.

p	A Anode geerdet	K Kathode geerdet	p	A Anode geerdet	K Kathode geerdet
0,25	226	244	3,60	232	240
0,44	232	250	3,90	225	238
0,12	230	240	4,50	230	240
2,46	228	240	7,00	—	250

Bei noch höheren Drucken ist die Entladung mit eingeschalteter Funkenstrecke sehr unregelmäßig; deshalb konnte hierfür die Elektrizitätsmenge pro Entladung nicht mehr bestimmt werden. Jedoch ersieht man, daß dieselben innerhalb des beobachteten Gebietes vom Druck unabhängig sind.

2.

Anstatt eine Elektrode der Entladungsröhre durch die Funkenstrecke zur Erde abzuleiten, kann man sie auch direkt mit der Erde verbinden. Die Versuchsanordnung ist folgende. Die Influenzmaschine I ist mit dem Umschalter U, dieser mit den Elektroden der Entladungsröhre verbunden; in dem einen Zuleitungszweig von dem Umschalter zur Entladungsröhre ist die Funkenstrecke eingeschaltet. Von den Elektroden führen Drähte zu den Quecksilbernäpfchen a und b; das Quecksilbernäpfchen c war durch einen Draht mit der Erde verbunden. Durch Kupferbügel konnte nach Belieben a oder b mit c verbunden werden und dadurch die eine oder die andere Elektrode zur Erde abgeleitet werden. Vgl. Figur 9.

Durch diese Schaltungsweise ergeben sich 6 Fälle, wie aus folgender Figur ersichtlich ist. Die Anordnung in Gruppen

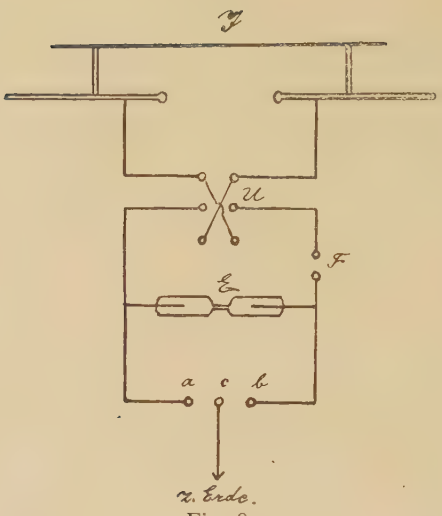

Fig. 9.

zu je 2 Fällen wird später durch die beobachteten Erscheinungen begründet werden. Vgl. Fig. 10.

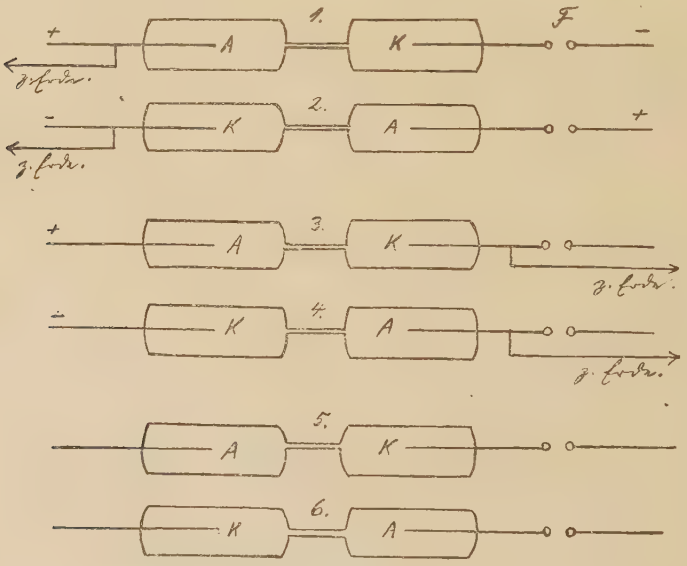

Fig. 10.

Ad 1 und 2. Die Erscheinung ist die gleiche, wie in den oben beschriebenen Fällen: die Entladungszahl ist im

allgemeinen umgekehrt proportional der Schlagweite. Wird aber dieselbe kleiner als 0,4 mm, so treten zunächst ungleichmäßige Entladungen auf, bei weiterer Verkleinerung bildet sich eine Entladungsform von bedeutend weniger Entladungen heraus. Nimmt die Schlagweite weiterhin bis Null ab, so wächst die Entladungszahl wieder, und zwar bis zu einem Maximum, das sie für die Schlagweite Null erreicht. Daß die Entladung hierfür diskontinuierlich blieb, konnte stets durch geeignete kleine Stromstärke eventuell durch den Jodkadmiumwiderstand erreicht werden. Bei manchen Versuchen trat der plötzliche Wechsel in der Entladung erst bei kleineren Schlagweiten als 0,4, nämlich 0,2 — 0,15 mm auf. Im regulären Gebiet zeigte sich auch hier wieder die Unabhängigkeit der Entladungszahl vom Druck.

Ad 3 und 4. Zwischen den mit der Funkenstrecke sich verändernden Entladungen treten Entladungen auf, die sehr dicht aneinander liegen und in der Zahl den Entladungen entsprechen, die ohne Funkenstrecke im Falle der Diskontinuität vorhanden sind. Verändert man die Funkenstrecke, so ändert sich die Zahl der intensiveren ersteren Entladungen umgekehrt proportional der Schlagweite wie in den früheren Fällen, jedoch die Zahl der viel lichtschwächeren zweiten Entladungen bleibt konstant.

Um die Frage, ob die erste Entladung synchron mit der Entladung in der Funkenstrecke verläuft, zu beantworten, wurde die Funkenstrecke in doppelter Entfernung vom Drehspiegel, wie die Kapillare des Entladungsrohres, aufgestellt. Ist die Periode für beide Entladungen die gleiche, so müssen im rotierenden Spiegel die Entfernungen der Funken doppelt so groß sein, wie die Entfernungen der von der Kapillarentladung herrührenden Streifen, was der Versuch für alle Fälle bestätigte. Wenn die Funkenentladung und die Rohrentladung nur wenig Unterschied in der Frequenz haben, dann ist die Entladung ziemlich unregelmäßig. Wird die Frequenz der Funkenentladung halb so groß wie die der Rohrentladung, so wird die Erscheinung sehr regelmäßig, dies gilt überhaupt, wenn die Zahl der Rohrentladungen ganze Vielfache der Zahl der Funkenentladungen beträgt. Die Zeit, die zwischen eine Funkenentladung und der darauf folgenden Rohrentladung verstreicht,

ist immer etwas größer als die zwischen aufeinanderfolgenden Rohrentladungen.

Ad 5 und 6. Diese beiden Fälle sind identisch, sie wurden jedoch der besseren Übersicht halber oben getrennt gezeichnet. Die Zahl der Funkenentladungen ist hier bedeutend größer als bei 1 und 4, entsprechend dem oben angeführten Gesetze von G. Wiedemann. Auch hier treten die lichtschwachen Rohrentladungen zugleich mit den Funkenentladungen auf, nur ist ihre Intensität noch viel geringer als im Fall 3 und 4. Infolgedessen waren die entsprechenden Streifen im rotierenden Spiegel nur sehr wenig hell und entgingen längere Zeit überhaupt der Beobachtung. Dieser Umstand führt zur Vermutung, daß auch im Falle 1 und 2 gleichzeitig mit der Funkenentladung eine Rohrentladung auftritt, die aber so lichtschwach ist, daß sie nicht wahrgenommen werden kann.

Was die Bedeckung der Kathode betrifft, so gilt folgendes:

Ad 1 und 2. Die Bedeckung wächst rasch mit der Schlagweite der Funkenstrecke und ist sehr intensiv.

Ad 3 und 4. Die kleinere, der Rohrentladung entsprechende Bedeckung ist sehr intensiv und bleibt konstant; die größere, die der Funkenentladung entspricht, ist bedeutend lichtschwächer und wächst mit wachsender Funkenstrecke.

Ad 5 und 6. Die Bedeckungen verhalten sich wie im Fall 3 und 4, nur ist der Intensitätsunterschied der beiden Bedeckungen geringer.

In der Tabelle stehen unter S die Schlagweiten der Funkenstrecke; die Zahlen unter A, N und K sind proportional den Elektrizitätsmengen pro Entladung und zwar, je nachdem die Anode oder keine Elektrode oder die Kathode zur Erde abgeleitet ist. Der Druck war während der Versuchsreihe 1,07 mm Hg.

Tabelle 32.

S	A	N	K	S	A	N	K
300	668	374	652	50	105	95	100
250	544	316	532	30	70	58	70
200	420	261	410	20	55	40	55
150	310	208	300	15	110	90	100
100	200	150	190	0	75	32	53

Die Resultate dieses Abschnittes sind, kurz zusammengefaßt:

1. Das Gesetz von G. Wiedemann über die Elektrizitätsmengen, die übergehen, je nachdem Anode, Kathode oder nichts geerdet ist, wird bestätigt [1]).

2. Die Entladungszahlen sind umgekehrt proportional den Schlagweiten der Funkenstrecke. Eine Ausnahme erleidet dieses Gesetz für Schlagweiten zwischen 0 und 0,4 mm. Bei eingeschalteter Funkenstrecke sind die Entladungszahlen vom Druck im Entladungsrohr unabhängig.

3. In gewissen Fällen können in der Kapillare des Entladungsrohres gleichzeitig zwei Entladungen auftreten, die eine ist vom Druck im Entladungsrohr abhängig und unabhängig von der Funkenstrecke, die andere verhält sich gerade umgekehrt.

3.

Auch im folgenden Fall tritt die gleiche Entladungsform, nämlich zwei gleichzeitige Entladungen auf. Im Hauptstromkreis ist nur die Funkenstrecke. Von der einen Kugel der Funkenstrecke führt ein Draht zur einen Elektrode des Entladungsrohres, während die andere Elektrode desselben geerdet ist. Vgl. Fig. 11.

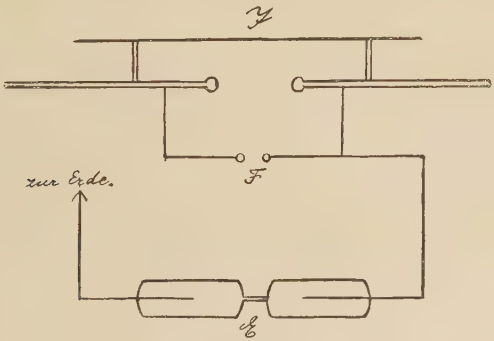

Fig. 11.

Steht die Funkenstrecke auf Null, so geht keine Entladung durch das Entladungsrohr, auch bei kleinen Schlagweiten nicht. Erst bei größeren Schlagweiten geht eine Seitenentladung

[1]) Vgl. auch Taylor a. a. O.

durch das Rohr, die genau dasselbe Aussehen hat, wie die Entladungen in den früheren Fällen, im rotierenden Spiegel zeigen sich auch hier beide Entladungen gleichzeitig.

Daß umgekehrt auch vom Entladungsrohr weg Seitenentladungen durch die geerdete Funkenstrecke gehen können, zeigt ein Versuch bei folgender Schaltung. Vgl. Fig. 12.

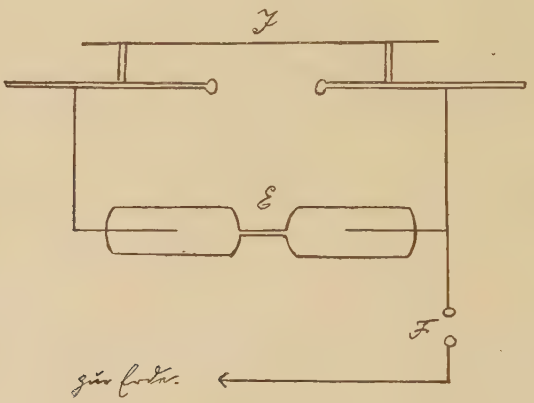

Fig. 12.

Im Hauptstromkreis ist das Entladungsrohr; eine Elektrode desselben ist durch die Funkenstrecke zur Erde abgeleitet. Es treten hierbei bei kleinen Schlagweiten Funken zwischen den Kugeln der Funkenstrecke auf, deren Zahl mit zunehmender Schlagweite abnimmt. Die Rohrentladung bleibt hierbei ungeändert. Bei größeren Schlagweiten können keine Funken mehr übergehen, dann nimmt die Zahl der Entladungen im Rohr, wie zu erwarten ist, stark zu, da ja dann die Verbindung des Rohres mit der Erde aufgehoben ist.

2. Abschnitt.

Einfluſs eines Widerstandes und einer Selbstinduktion.

S. N. Taylor faßt seine Beobachtungen über den Einfluß eines Widerstandes folgendermaßen zusammen:

1. With sufficiently low resistance in the circuit the discharge is continuous, but when the resistance is increased sufficiently the discharge suddenly becomes disruptive; the

frequency of discharge continues to decrease, . . . from that point on as the external resistance is increased.

2. If the low resistance, at which the discharge is continuous, is increased very slowly, a critical point may always be found where the discharge fluctuates between the continuous and disruptive form without any change in external circuit."

Ob überhaupt kontinuierliche oder diskontinuierliche Entladung eintritt, wenn kein Widerstand eingeschaltet ist, hängt bei den verwendeten Entladungsröhren hauptsächlich von der Stromstärke ab, und zwar verursachen große Stromstärken meist kontinuierliche, kleine diskontinuierliche Entladungen. Kleine Widerstände verändern diese Erscheinung nicht; wohl aber bestätigt sich Taylors Resultat, daß bei langsamer Vergrößerung des Widerstandes die kontinuierliche Entladung einmal plötzlich in die diskontinuierliche übergeht, und daß an diesem „kritischen Punkt" beide Entladungsformen gleichzeitig oder vielmehr in raschem Wechsel einander folgend bestehen können. Dieser Übergang zeigt sich besonders deutlich an der plötzlich wachsenden Bedeckung, die ja für die diskontinuierliche Entladung bedeutend größer wird (vgl. die Versuche des 2. Teiles). Wenn beide Formen in raschem Wechsel einander folgen, so sieht man beide Bedeckungen gleichzeitig, im rotierenden Spiegel dagegen zeigen sich bald die Streifen, die der diskontinuierlichen Entladung entsprechen, bald die gleichmäßig erhellte Fläche, die der kontinuierlichen entspricht.

Bei gleichbleibender Stromstärke und Widerstand ist die Form der Entladungen auch abhängig vom Druck. Es ergeben sich z. B. für verschiedene Drucke p folgende Werte für die Bedeckungen und Entladungszahlen: (b_1 bed. bei kont., b_2 bei diskont. Entl.)

Tabelle 33.

p	b_1	b_2	n	p	b_1	b_2	n
8	2	—	—	3,06	5	13	1750
5,7	2,7	—	—	1,70	9	23	2500
4,2	3,5	10	1300	1,43	11	26	2700 ungefähr.

Für noch tiefere Drucke war die Entladung meistens kontinuierlich, erst bei Drucken unter 0,3 mm trat wieder der Wechsel auf. Bei geeigneter Stromstärke läßt sich der Widerstand so regulieren, daß beide Entladungen bei den verschiedensten Drucken in raschem Wechsel auftreten.

Tabelle 34.

p	b_1	b_2	$p \cdot b_1$	p	b_1	b_2	$p \cdot b_1$
4,6	2,5	7	11,50	0,75	15	59	11,25
2,57	4,0	16	10,26	0,68	17	61	11,56
1,5	7,5	31	11,25	0,57	20	63	11,40
1,0	11	54	11,00	0,50	23	68	11,50
0,87	13	56	11,31			Mittel:	11 23

Diese Versuchsreihe liefert zugleich eine weitere Bestätigung des 1. Hehlschen Gesetzes, schließt sich also insoferne an die 1. Versuchsreihe von S. 11 an.

Für die diskontinuierliche Entladung aber kann das Produkt aus Druck und Bedeckung nicht konstant sein, da ja die Bedeckung ganz verschiedenen Entladungszahlen entspricht. Wenn wir aber die Entladungszahl durch Regulieren mittels der Funkenstrecke konstant halten, zeigt die folgende Versuchsreihe, daß dann das Produkt aus Bedeckung und Druck konstant ist, wie nach dem Hehlschen Gesetz zu erwarten ist.

Tabelle 35.

p	b	$p \cdot b$	p	b	$p \cdot b$
3,7	6	22,2	1,2	16	19,2
2,1	10	21	0,85	23,5	20
1,5	14	21	0,5	38	19
				Mittel: $p \cdot b$ =	20,4.

Außer der verschieden großen Bedeckung ergeben sich für die beiden Entladungsformen noch folgende Unterschiede:

Die diskontinuierliche Entladung ist gegen genäherte Leiter mehr oder weniger empfindlich, die kontinuierliche ist stets unempfindlich. Der diskontinuierlichen Entladung entspricht stets ein bedeutend kleinerer dunkler Raum als der kontinuierlichen[1]). War in der Nähe des kritischen Punktes die kontinuierliche Entladung vorhanden, so genügte meist ein Berühren

[1]) O. Lehmann, Verh. d. naturw. Vereins Karlsruhe 15, p. 44, 1902.

des Entladungsrohres mit der Hand, um entweder den raschen Wechsel, oder wenigstens für einige Augenblicke die diskontinuierlichen Entladung herbeizuführen.

Wenn man den Widerstand über den kritischen Punkt hinaus vergrößert, so nimmt zunächst die Entladungszahl zu, bei mittleren Stromstärken kann dann wieder kontinuierliche Entladung auftreten, bei kleineren bleibt sie auch bei den größten verwendeten Jodkadmiumwiderständen diskontinuierlich.

Um den Einfluß noch größerer Widerstände zu erkennen, wurde als Widerstand Wasser in U-förmig gebogenen Glasröhren bis zu 1 mm Durchmesser herunter benutzt. Hierbei ist die Entladung meistens kontinuierlich, jedoch treten gleichzeitig in unregelmäßigen Zeitabständen diskontinuierliche Entladungen auf. Wenn bei diesen ganz großen Widerständen diskontinuierliche Entladungen auftraten, so waren die Streifen im rotierenden Spiegel bedeutend breiter als bei kleinen Widerständen, also sind die Entladungen in diesem Falle von längerer Dauer.

Der Einfluß der Funkenstrecke ist bei sehr großen Widerständen viel unbedeutender; ist das Schaltungsschema wie bei 1 und 2 auf S. 28, so wird durch die Veränderung der Funkenstrecke die kontinuierliche Entladung nicht geändert, nur bei sehr großen Schlagweiten treten gleichzeitig noch sehr lichtschwache Entladungen von der Entladungszahl der Funkenstrecke auf, denen auch eine zweite, lichtschwache Bedeckung entspricht.

Schaltete man wie bei 3 und 4 auf S. 28, so war die Entladung diskontinuierlich, bei Vergrößerung der Schlagweite wurde die Entladungszahl zuerst kleiner, dann sehr groß, dann nahm sie umgekehrt proportional der Schlagweite ab.

Wenn man Funkenstrecke und Widerstand nicht auf verschiedene Seiten des Entladungsrohres, sondern auf die gleiche schaltet, so erhält man das nämliche Resultat.

Durch kleine, an irgendeiner Stelle in den Stromkreis eingeschaltete Selbstinduktionen wird die Form und Zahl der Entladungen nicht beeinflußt. Um einen etwaigen wenn auch kleinen Unterschied deutlich bemerken zu können, war jedesmal

die Schaltung so angelegt, daß durch einfaches Umschalten die Selbstinduktion ein- oder ausgeschaltet werden konnte.

3. Abschnitt.

Einfluſs eines Kondensators.

Die Versuche des 2. Abschnittes ergaben, daß die diskontinuierliche Entladung gegen genäherte Leiter (Finger) empfindlich ist, „die hierbei auftretenden Phänomene sind Kondensatorwirkungen, bei denen das leitende Gas und der genäherte Leiter die Belege eines Kondensators sind, die Glaswand der Entladungsröhre und die atmosphärische Luft aber die Rolle des Dielektrikums spielen“ [2]). Da durch Nähern des Fingers sich zugleich die Entladungszahl verkleinert, so fragt es sich im allgemeinen, wie sich die Entladungszahl verändert, wenn man dem Entladungsrohr parallel Kondensatoren schaltet. Daß tatsächlich durch Parallelschalten eines Kondensators Diskontinuitäten bei Stromstärken auftreten, bei denen sonst die Entladung kontinuierlich ist, wurde von W. Hittorf [1]) beobachtet, und R. Reigers Versuche zeigen, daß jede an sich kontinuierliche Entladung durch parallel geschaltete Kapazitäten in diskontinuierliche Entladungen übergeführt werden kann. Die Entladungszahlen waren bereits im 2. Teil durch Parallelschalten von Kondensatoren verändert worden, die Kondensatoren waren, wie bei den folgenden Versuchen, Leydener Flaschen. Die Kapazitäten dieser Leydener Flaschen wurden nach der von Kohlrausch angegebenen Methode [3]) durch Vergleichen mit einem geeichten Kondensator mittels der Wheatstoneschen Brücke bestimmt. Die Kapazität des Meßkondensators war $500 \cdot 10^{-5}$ Mikrofarad; für die Kapazitäten der anderen Leydener Flaschen ergaben sich folgende Werte:

Tabelle 36.

1.	$445 : 10^{-5}$	M.-F.	5.	$226 \cdot 10^{-5}$	M.-F.
2.	366		6.	194	
3.	281		7.	158	
4.	258				

[1]) W. Hittorf, Wied. Ann. 20. 1883, p. 723ff.
[2]) R. Reiger a. a. O. p. 30.
[3]) F. Kohlrausch, Lehrb. d. prakt. Physik, p. 527.

Außerdem wurden noch folgende Kapazitäten verwandt, die mangels kleinerer Leydener Flaschen durch Hintereinanderschalten der obigen gebildet wurden:

Tabelle 37.

8.	$104{,}4 \cdot 10^{-5}$	M.-F.	11.	$50{,}5 \cdot 10^{-5}$	M.-F.
9.	87,1		12.	42,8	
10.	62,8				

In den folgenden Tabellen bedeutet K. die parallelgeschaltete Kapazität multipliziert mit 10^{+5}, n die Entladungszahl mal einer Konstanten, beobachtet beim jeweiligen Druck p.

Tabelle 38.

1. p = 5,6.

K	n	K·n	K	n	K·n
366	19	6954	158	49	6320
281	24,5	6884	104	59	6136
258	26,5	6837	87	62	5394
226	30	6780	62,8	70	4396
194	35	6790			

Tabelle 39.

2. p = 3,74.

445	18	8010	194	33	6512
366	21	7686	158	40	6320
281	26	7306	104	60	6314
258	27	6966	87	66	5742
226	30,5	6853	62,8	84	5275

Tabelle 40.

3. p = 3,70 (größere Stromstärke als bei 2).

445	30	13350	158	80	12640
366	36	13166	104	112	11648
281	46	12926	87	121	10527
258	49,5	12771	62,8	150	9420
226	56	12656	50,5	160	8080
194	65	12610	43	170	7276

Tabelle 41.

4. p = 3,1.

K	n	K·n	K	n	K·n
445	26	11570	194	53	10282
366	31	11346	158	60	9430
281	39,5	11009	104	85	8852
258	43	10994	87	90	7965
226	47	10622	62,8	120	7632

Tabelle 42.

5. p = 2,79.

445	24	9680	158	55	8690
366	26	9510	104	73	7592
281	33	9273	87	86	7282
258	35	9030	62,8	104	6531
226	39,5	8927	50,5	120	6060
194	46	8944	42,8	126	5418

Tabelle 43.

6. p = 2,49.

445	29	13305	194	54	10476
366	35	12840	158	63	9954
281	42	11892	87	100	8700
258	46	11868	62,8	122	7561
226	49	10074			

Tabelle 44.

7. p = 1,7.

366	33	12078	158	60	9480
281	40	11240	104	82	8528
258	42	10836	87	92	8142
226	46	10296	62,8	103	6551
194	53	10272			

Die Tabellen zeigen, daß für große parallelgeschaltete Kapazitäten das Produkt aus Kapazität nahezu konstant ist, für kleinere Kapazitäten aber rasch abnimmt.

Wenn ein Kondensator n-mal pro Sekunde geladen und entladen wird, und wenn man mit i die Stromstärke, mit V das Potential, auf das er geladen wird, und mit C seine Kapazität bezeichnet, so ist:

$$C = \frac{i}{n\,V},$$

oder

$$C \cdot n = \frac{i}{V}.$$

Wenn man nun Stromstärke und Potential konstant hält, so ergibt sich für verschiedene Kapazitäten und Entladungszahlen, daß in diesem Falle das Produkt aus Kapazität und Entladungszahl konstant bleiben muß.

Bei der diskontinuierlichen Entladung in einem Entladungsrohr müssen wir nun, wie oben erwähnt wurde, den ganzen Vorgang als eine Kondensatorentladung betrachten, und zwar

wird der Kondensator n-mal in der Sekunde geladen und entladen.

Nun hat sich gezeigt, daß für große parallelgeschaltete Kapazitäten das Produkt aus Kapazität und Entladungszahl nahezu konstant ist, aber für kleinere abnimmt; wenn sich nun die Kapazität des Entladungsrohres zu der parallelgeschalteten addiert, so muß man stets das konstante Produkt erhalten, vorausgesetzt, daß Stromstärke und Potential sich durch Parallelschalten von Leydener Flaschen nicht ändern. Dann ließe sich hieraus die Kapazität der Entladungsröhre selbst bestimmen.

IV. Teil.

Bestimmung der Kapazität einer Entladungsröhre.

Es ist zunächst zu untersuchen, ob sich Stromstärke, d. h. die gesamte in der Zeiteinheit übergehende Elektrizitätsmenge, und Potential beim Parallelschalten von Kondensatoren ändert oder nicht. Zur Messung der Stromstärke wurde wie im 2. Teil ein Galvanometer von der Empfindlichkeit 0,32 benützt. Es zeigte sich, daß die Stromstärke stets die gleiche war, mochten Kondensatoren parallel geschaltet sein oder nicht.

Zur Messung der Potentialdifferenz wurde ein Braunsches Elektrometer benutzt. Da auch das Elektrometer eine Kapazität besitzt, so müßte sich durch das Einschalten desselben die Zahl der Entladungen ändern; die Versuche zeigten aber, daß dies nicht oder nur fast unmerklich der Fall war, also muß die Kapazität des Elektrometers klein sein gegenüber der des Entladungsrohres. Dieselbe wurde nach der Methode durch Ladungsteilung[1]) bestimmt und beträgt etwa 5 absolute Einheiten. Das Elektrometer konnte durch einen Ausschalter dem Entladungsrohr parallel geschaltet werden. Schaltete man ein, so änderte sich die Entladungszahl nicht, entsprechend der kleinen Kapazität des ersteren. Schaltet man nun noch Leydener-Flaschen parallel, so nimmt die Entladungszahl, wie früher, bedeutend ab, das vom Elektrometer angezeigte Potential bleibt jedoch konstant. Erst bei ziemlich großen Kapazitäten tritt ein langsames Wachsen des Potentials ein. Das Braunsche

[1]) Vgl. E. Wiedemann und H. Ebert, Phys. Praktikum.

Elektrometer eignet sich insoferne gut zu den Potentialmessungen bei der diskontinuierlichen Entladung als der Zeiger desselben trotz der Diskontinuität gar keine Schwankungen zeigt; seine Schwingungsdauer ist groß im Verhältnis zu dem Intervall zwischen zwei Entladungen.

Mißt man das Potential mit der Braunschen Röhre, so wird aus dem leuchtenden Punkt auf dem Fluoreszenzschirm der Röhre ein abgelenkter leuchtender Streifen bei der der diskontinuierlichen Entladung. Die beiden Endpunkte des Streifens entsprechen dem Maximum und Minimum der Potentialdifferenz; da sie groß ist, so ist die Ablenkung meist so groß, daß der Streifen nicht mehr auf den Schirm fällt. Durch einen passend aufgestellten Magneten gelingt es jedoch, denselben auf den Schirm zurückzuholen. Er blieb an der nämlichen Stelle und von der gleichen Größe, solange man nicht allzugroße Kapazitäten anlegte; es bestätigte sich also das mit dem Elektrometer gefundene Resultat. Mit dem Elektrometer ergab sich z. B. folgendes: Bei einem Druck von 4,3 mm ist das Potential 1400 Volt, schaltet man Kapazitäten ein, so bleibt es konstant, bei großen Kapazitäten wächst es ein wenig, für die größte verwendete Kapazität ($633 \cdot 10^{-5}$[M.F.] = 5697 [cm]) war es bis auf 1525 Volt gestiegen.

Zur Braunschen Röhre sei noch bemerkt, daß sich der Streifen im rotierenden Spiegel zu ansteigenden Kurvenästen auflöst, die den Verlauf des Potentials während der einzelnen Entladungen darstellen. Die absteigenden Kurvenäste zu sehen, gelingt nicht. Diese Kurven sind von Taylor[1]) beobachtet und gezeichnet worden. Die Bestimmung der Entladungszahl, die auch hieraus möglich ist, geschieht aber besser und genauer durch die direkte Beobachtung der Entladung in der Kapillare.

Da also sowohl Stromstärke als auch Potential, letzteres wenigstens für nicht allzugroße Kapazitäten, konstant bleiben, so muß, wenn wir die parallelgeschaltete Kapazität mit K, die des Entladungsrohres mit K_0 bezeichnen, gelten:

$$(K + K_0)\ n = \text{konst.},$$

vorausgesetzt, daß sich die beiden Kapazitäten wirklich addieren.

[1]) a. a. O.

Durch Parallelschalten von kleinen Kapazitäten wird die Entladungszahl wenig, aber doch wahrnehmbar verändert. Zuerst versuchte ich Zinkblechplatten von mit veränderlichem Abstand als Kondensatoren zu verwenden, da aber die Entfernung der Platten sich nicht gut ablesen ließ, bezw. die Platten nicht ganz eben waren, so daß die Abstände an verschiedenen Punkten verschieden groß waren, so benutzte ich zwei Glasplatten vom Radius 20 cm, die auf einer Seite mit Staniol beklebt wurden, die beiden Seiten wurden einander zugekehrt und lieferten den Kondensator. Wenn man mit a den Abstand bezeichnet, so ist für kleine a angenähert.

$$K = \frac{r^2}{4a} = \frac{100}{a} \text{ [cm]}.$$

Die Entladungszahl wurde in jedem Falle dreimal bestimmt und dann das Mittel genommen. Die angegebenen Werte z sind umgekehrt proportional den Entladungszahlen ($z = 62830 : n$). $n_0 = 62830 : z_0$ ist die Entladungszahl, wenn der Kondensator ausgeschaltet ist.

Tabelle 45.

1. p = 3,6.

K	z_1	z_2	z_3	Mittel	$\frac{K}{z - z_0}$
0	82	78	80	80	
25	93	96	95	95	1,67
33	103	102	102	102	1,50
50	112	112	110	111	1,61
67	122	124	126	124	1,52
100	142	141	142	142	1,51
				Mittel:	1,58

Die Bedeutung der Konstanten $\frac{K}{z - z_0}$ ist aus folgendem ersichtlich:

Wenn man voraussetzt, daß sich die Kapazität des Entladungsrohres zur parallelgeschalteten addiert, so ist das Produkt $Cn = (K + K_0)\, n = \text{konst.}$ Da $n = \frac{c}{z}$, so ist auch

$$\frac{K + K_0}{z} = \text{konst.} = \frac{K_0}{z_0},$$

oder:

$$K z_0 + K_0 z_0 = K_0 z$$
$$K_0 = \frac{K z_0}{z - z_0}.$$

Die Kapazität des Entladungsrohres ergibt sich also, wenn man z_0 mit der Konstanten $\frac{K}{z - z_0}$ multipliziert. $\frac{K}{z - z_0}$ ist nach obigem Versuch tatsächlich konstant, und so bestätigt sich die Voraussetzung daß die beiden Kapazitäten sich addieren.

Für K_0 ergibt sich 126 [cm] $= 14 \cdot 10^{-5}$ [M.F.].

Die folgenden Tabellen enthalten die bei verschiedenen Drucken angestellten Beobachtungen und die herausgefundenen Werte für die Kapazität. Die Entladungszahlen wurden in jedem einzelnen Fall 3mal bestimmt und das Mittel genommen.

Tabelle 46.

p = 2,50.

K	z	$\frac{K}{z - z_0}$
0	46	—
25	54	3,12
33	56	3,30
50	62	3,12
67	68	3,05
100	78	3,12
	Mittel:	3,14
	K_0 = 144 [cm]	

Tabelle 47.

p = 1,98.

K	z	$\frac{K}{z - z_0}$
0	43	—
25	50	3,57
33	52	3,67
50	57	3,70
67	61	3,72
100	70	3,67
	Mittel:	3,67
	K_0 = 158 [cm]	

Tabelle 48.

K	z	$\frac{K}{z - z_0}$	K	z	$\frac{K}{z - z_0}$
0	95	—	50	128	1,52
25	111	1,67	67	136	1,66
23	117	1,50	100	157	1,61
				Mittel:	1,59
				K_0 = 151 [cm]	

Statt der Kapazitäten kann man auch die Entladungszahlen variieren und die Kapazität konstant halten ($K_0 = 100$; Variation der Entladungszahl durch Verändern der Stromstärke).

Tabelle 49.

p = 7,8.

z_0	z	$\frac{z_0 \cdot K}{z - z_0} = K_0$
95	157	151
114	184	159
118	200	144
140	233	151

Mittel: $K_0 = 151$ [cm]

Tabelle 50.

p = 1,56.

K	z	$\frac{K}{z - z_0}$
0	42,4	—
25	48,7	3,97
33	51	4,07
50	55	3,97
67	59,7	3,84
100	67	4,07

Mittel: 3,94

$K_0 = 167$ [cm]

Tabelle 51.

p = 5,8.

K	z	$\frac{K}{z - z_0}$
0	105	—
25	116	2,27
50	127	2,27
67	135	2,23
100	150	2,22

Mittel: 2,25

$K_0 = 127$ [cm]

Es ergeben sich also für die Kapazität der Entladungsröhre bei verschiedenen Drucken folgende Werte:

Tabelle 52.

p	K	p	K
7,8	151	2,5	144
5,8	126	1,98	157
3,6	126	1,56	167

Die Kapazität läßt sich nach der auf S. 38 angeführten Formel auch direkt aus Stromstärke Potential und Zahl der Entladungen bestimmen. Bezeichnen wir den Galvanometerausschlag mit a, das am Elektrometer gemessene Potential mit V und den aus der Tourenzahl des Drehspiegels wie oben bestimmten, der Entladungszahl umgekehrt proportionalen Wert mit z_0, so ergibt sich

$$K'_0 = \frac{a\, z_0}{V} \cdot 410 \text{ cm}.$$

Aus den folgenden Tabellen wird die Kapazität eines Entladungsrohres bei verschiedenen Drucken nach beiden Me-

thoden bestimmt; die erste Methode hat den Vorzug, daß zu einer Kapazitätsbestimmung weder Galvanometer noch Elektrometer, sondern nur eine veränderliche andere Kapazität nötig ist.

Tabelle 53.

p = 9,5.

a)	K	z	$\frac{K}{z-z_0}$
	0	13,9	—
	100	23,9	10,0
	200	34,2	9,8
			Mittel: 9,9

b) $\alpha = 43$ $K_0 = 138$, $V = 1970$, $K_0' = 128$

Tabelle 54.

p = 6,8.

a)	K	z	$\frac{K}{z-z_0}$
	0	13,1	—
	100	23,7	9,3
	200	34,0	9,5
			Mittel: 9,4

b) $\alpha = 44$ $K_0 = 123$, $V = 2150$, $K_0' = 110$

Tabelle 55.

p = 4,4.

a)	K	z	$\frac{K}{z-z_0}$
	0	14,1	—
	100	25	9,0
	200	36,3	9,2
			Mittel: 9,1

b) $\alpha = 33$ $K_0 = 128$, $V = 1730$, $K_0' = 114$

Tabelle 56.

p = 2,7.

a)	K	z	$\frac{K}{z-z_0}$
	0	13,5	—
	100	24,4	8,9
	200	35,8	9,2
			Mittel: 9,0

b) $\alpha = 33$ $K_0 = 122$, $V = 1540$, $K_0' = 122$

Tabelle 57.

p = 2,1.

a)	K	z	$\frac{K}{z-z_0}$
	0	11,6	—
	100	20,6	11,1
	200	28,7	11,7
			Mittel: 11,4

b) $\alpha = 33$ $K_0 = 132$, $V = 1250$, $K_0' = 131$

Tabelle 58.

Zusammenstellung der für die Kapazitäten bei verschiedenen Drucken gefundenen Werte.

p	K_0	K_0'
9,5	138	128
6,8	123	110
4,4	128	114
2,7	122	122
2,1	132	131

Die Kapazität des Rohres scheint demnach nur wenig oder gar nicht von dem Druck abhängig zu sein.

Im folgenden soll der Einfluß der Dimensionen der Entladungsröhre auf die Größe der Kapazität geprüft werden. Da die beiden mit Stanniol beklebten Glasplatten nicht genau parallel waren und somit auch ihre Kapazität nicht genau bestimmt werden konnte, wurden zu den folgenden Versuchen 2 Messingplatten vom Radius 15 cm und der mittleren Dicke von 0,4 cm als Kapazitäten benutzt. Die Berechnung der Kapazität erfolgt, wenn r den Radius der beiden Platten, a ihren Abstand und d ihre Dicke bedeutet, nach der Formel:

$$C = \frac{r^2}{4a} + \frac{r}{4\pi}\left[\lg\,\mathrm{nat}\,\frac{16\pi r(a+d)}{a^2} + 1 + \frac{d}{a}\lg\,\mathrm{nat}\,\frac{a+d}{d}\right].$$

Hieraus ergibt sich bei einem Abstand $a = 1$ cm: $C_1 = 66{,}35$ [cm], bei einem Abstand $a = 0{,}5$ cm: $C_2 = 123{,}9$ [cm].

Um bei der Untersuchung des Einflusses der Dimensionen der Röhren vom Druck und der etwa störenden verschiedenen Beschaffenheit der Luftfüllung unabhängig zu sein, würden die Beobachtungen jedesmal an 2 Röhren angestellt, die gleichzeitig mit der Luftpumpe in Verbindung standen. Es soll nun zunächst der Einfluß der Länge des Entladungsrohres untersucht werden.

1. Rohr.

Anodenteil	40 cm	Weite der Kap.	1 mm
Kathodenteil	40 cm	Entf. der Elektr.	66 cm
Kapillare	6 cm	Dicke der Elektr.	3 mm.

2. Rohr.

Anoden- und Kathodenteil je 20 cm, Entfernung d. Elektr. 20 cm; die übrigen Dimensionen sind die gleichen wie bei 1.

Tabelle 59.

	p	z_0	z_1	z_2	K_1	K_2	Mittel
1.	1,29	4,01	5,97	8,00	136	125	130
		4,02	6,02	8,08	123	133	128
2.	7,50	10,42	15,92	21,60	126	116	121
		7,92	11,98	16,30	129	117	123
3.	2,92	7,00	10,70	13,90	125	126	126
		5,07	7,69	10,16	129	123	126
4.	3,88	7,61	10,87	14,48	155	137	146
		5,80	8,48	11,18	144	134	139
5.	3,02	9,50	15,00	20,14	115	111	113
		7,75	11,89	15,78	124	120	122
6.	1,95	8,92	13,04	17,16	144	134	139
		6,46	9,44	12,40	144	135	139
7.	1,20	8,11	13,05	18,24	109	99	104
		4,94	7,67	10,48	120	94	107
8.	2,60	8,17	12,40	16,20	128	126	127
		5,25	8,11	10,88	122	116	119

Diese Versuche wurden an verschiedenen Tagen mit verschiedenen Luftfüllungen und Stromstärken ausgeführt. In einigen Fällen wurden die Resultate durch Messung von Stromstärke und Potential kontrolliert, wobei sich eine gute Übereinstimmung ergab. Es zeigt sich also, daß die Kapazität einer Entladungsröhre von der Länge der Röhre unabhängig ist. Der Abstand der Elektroden war in beiden Röhren 20 cm.

In ähnlicher Weise wurde nunmehr eine Reihe von Kapazitätsbestimmungen in dem nämlichen Druckbereich wie in Tab. 59 angestellt und hierbei jeweils verschieden gewählt bei den sonst gleichen Dimensionen beider Röhren:

1. Die Entfernung der Elektroden (20 : 60)
2. Die Weite des Rohres (6 : 3)
3. Die Länge der Kapillare (6 : 18)
4. Die Weite der Kapillare (1 : $^1/_2$)
5. Die Dicke der Elektroden (3 : 1).

Es ergaben sich hierbei jeweils bei konstantem Druck stets nahezu die gleichen Werte, wie aus den Resultaten Tab. 60, die aus einigen der angestellten Beobachtungen gewonnen sind, hervorgeht.

Tabelle 60.

	1. Rohr				2. Rohr		
	K_1	K_2	Mittel	p	K_1	K_2	Mittel
Ad 1.	135	127	131	1,70	128	129	129
Ad 2.	139	133	136	3,32	140	138	139
	157	146	152	0,97	152	154	153
Ad 3.	152	162	157	3,30	156	147	152
	128	121	125	1,55	115	113	114
Ad 4.	141	145	143	3,42	152	141	147
	130	125	128	2,12	122	117	120
Ad 5.	144	146	145	3,68	139	136	138

Die Kapazität einer Entladungsröhre ist also unabhängig von den Dimensionen derselben; ihre Kapazitätseigenschaft scheint wesentlich bedingt zu sein durch die Unterschiede in der Entladung in den verschiedenen Teilen der Entladungsbahn, vielleicht durch die Eigenschaft des dunklen Raumes, sich wie ein Dielektrikum zu verhalten[1]). Der Versuch, die Kapazität einer Röhre, ohne daß Entladungen durch sie hindurchgesendet werden, zu messen, führte zu keinem Resultat. Die Unabhängigkeit von den Dimensionen wurde nach ganz anderer Methode auch von Afanasiew und Lopuchin nach einer Mitteilung Borgmanns[2]) gefunden.

Zur Untersuchung der Abhängigkeit vom Druck wurde noch eine Reihe von Messungen angestellt; man erhielt zwar bei verschiedener Luftfüllung abweichende Werte, die jedoch innerhalb des beobachteten Druckbereiches jeweils nahezu konstant sind, wie aus Tab. 61 hervorgeht.

Tabelle 61.

1.		2.	
p	K	p	K
3,26	202	4,6	141
2,85	197	1,7	147
2,40	206	0,9	156
1,45	196	0,44	148
1,10	189	0,22	151
0,95	190	0,12	148
Mittel:	197	Mittel:	149

[1]) A. Wehnelt, Wied. Ann. 65. 1898, p. 512 ff.

[2]) Phys. Zeitschrift 1900—1901 II, p. 652.

Bei noch kleineren Drucken konnten keine Beobachtungen angestellt werden, da auch bei kleinen Stromstärken die Entladungszahlen zu groß wurden, als daß sie mittels des Drehspiegels hinreichend genau hätten bestimmt werden können.

Außer der Beschaffenheit der Luftfüllung ist von, wenn auch geringem, Einfluß auf die Größe der Kapazität der Umstand, daß die Zahl der Entladungen bei gleicher Potentialdifferenz und Stromstärke etwas kleiner ist, wenn die Kathode als wenn die Anode oder keine Elektrode geerdet ist. Es ergaben sich z. B. bei der Bestimmung nach beiden Methoden folgende Werte:

Tabelle 62.

$p = 4{,}70$	$V = 1660$	$\alpha = 75$
1. Kathode geerdet	2. Anode geerdet	3. Nichts geerdet
$K' = 164$	$K' = 157$	$K' = 148$
$K = 171$	$K = 146$	$K = 139$

Resultate.

Die hauptsächlichsten Resultate der vorliegenden Arbeit sind folgende:

I. Die Hehl-Wilsonschen Gesetze über die Abhängigkeit der Kathodenbedeckung von Stromstärke, Druck und Radius des Elektrodendrahtes bestätigen sich.

II. 1. Die Bedeckung wächst nahezu proportional der pro Entladung übergehenden Elektrizitätsmenge.

2. Die Entladungsdauern sind für den Druckbereich von 1,5 bis 8,0 mm Hg von der Größenordnung 10^{-5} bis 10^{-4} Sek.; bei parallelgeschalteten Kapazitäten sind sie größer als bei vorgeschalteter Funkenstrecke, und wachsen mit zunehmender Kapazität. Ferner nehmen sie mit zunehmendem Druck sehr beträchtlich und bei sehr kleinen Stromstärken um ca. 25 % zu.

III. 1. Die Entladungszahlen sind umgekehrt proportional den Schlagweiten der Funkenstrecke, ausgenommen sind aber Schlagweiten bis zu etwa 0,4 mm.

2. Es können in gewissen Fällen im Entladungsrohr gleichzeitig zwei Entladungen auftreten.

3. Durch eingeschaltete Widerstände wird die Zahl der Entladungen verkleinert, unter Umständen wird die diskontinuierliche Entladung in die kontinuierliche übergeführt und umgekehrt.

4. Parallelgeschaltete Kondensatoren verkleinern die Zahl der Entladungen; und zwar ist für große Kondensatoren die Zahl der Entladungen umgekehrt proportional ihrer Kapazität.

IV. Die sog. Kapazität von Entladungsröhren läßt sich durch Parallelschalten von bekannten Kapazitäten aus diesen und den Entladungszahlen bestimmen; bei Röhren von dem verwandten Typus ist sie unabhängig von den Dimensionen der Röhre und innerhalb des beobachteten Bereiches auch unabhängig vom Druck; dagegen ist die Beschaffenheit der Luftfüllung von Einfluß.

Die vorliegende Arbeit wurde in den Jahren 1907 und 1908 im physikalischen Institut der K. Universität Erlangen ausgeführt.

Meinem hochverehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. E. Wiedemann spreche ich an dieser Stelle für die Anregung und gütige Unterstützung bei der Ausführung der Arbeit sowie Herrn Prof. Dr. R. Reiger für seine wertvollen Ratschläge meinen ergebensten Dank aus.

Lebenslauf.

Ich, Josef Würschmidt, katholischer Konfession, Sohn des k. Medizinalrats und Direktors der Kreisirrenanstalt Erlangen Dr. August Würschmidt und seiner Ehefrau Maria geb. Haringer, wurde geboren am 5. Februar 1886 zu Bayreuth. Ich besuchte die Volksschule und das Gymnasium zu Bayreuth, von 1897 ab das Gymnasium zu Erlangen, das ich 1904 absolvierte. Dann studierte ich 2 Semester in München zuerst Philosophie, dann Mathematik und Physik, hierauf in Erlangen 7 Semester Mathematik und Physik. Im Jahre 1906 bestand ich den 1., im Jahre 1908 den 2. Abschnitt der Lehramtsprüfung für Mathematik und Physik. Vorlesungen hörte ich in München bei den Herren v. Hertling, Lindemann, Lipps, Pringsheim, v. Roentgen, Voll und v. Weber, in Erlangen bei den Herren Fischer, Gordan, Heim, Lenk, Noether, Reiger, Römer, Wehnelt und Wiedemann.